

Explorando el uso de métricas espaciales para identificar “entornos de movilidad” urbanos¹

Julio Alberto SORIA-LARA

Ámsterdam Institute for Social Science Research (AISSR)

Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio

ata, citation and similar papers at core.ac.uk

brought to you

provided by Portal de Revistas Científicas

Aldo ARRANZ LÓPEZ

Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio

Universidad de Zaragoza

Francisco AGUILERA BENAVENTE

Departamento de Geología, Geografía y Medio Ambiente

Universidad de Alcalá de Henares

f.aguilera@uah.es

Recibido: 6 de marzo del 2014

Enviado a evaluar: 8 de mayo del 2014

Aceptado: 24 de junio del 2014

RESUMEN

El objetivo de alcanzar una mayor sostenibilidad en la planificación del transporte urbano ha sido una de las principales razones en el desarrollo de conceptos orientados a vincular de manera efectiva estructura urbana y sistema de transporte. En este contexto, surgen los “entornos de movilidad” como instrumentos integrados de planificación con éxitos notables en diferentes ámbitos contextuales. Este artículo tiene por objetivo explorar herramientas útiles para caracterizar la componente espacial de tales “entornos de movilidad”. Para ello, se ha diseñado una metodología basada en usar métricas espaciales de ventana móvil para medir diversas características espaciales de un conjunto de “entornos de movilidad” previamente definidos en el Área Metropolitana de Granada (España). La aplicación de la prueba U de Mann-Whitney permitió valorar la idoneidad de dichas métricas espaciales a tal efecto. Los resultados obtenidos muestran la apertura de un campo de trabajo aún inexplorado y con un gran potencial de cara a progresar en el vínculo entre transporte y usos del suelo.

Palabras clave: sostenible, metropolitano, métricas espaciales, metro ligero.

¹ Esta investigación ha sido posible gracias al Plan de Perfeccionamiento de Doctores de la Universidad de Granada.

Exploring the use of spatial metrics to identify urban mobility environments

ABSTRACT

Achieving sustainable development outcomes in urban transport planning has contributed to developed new concepts orientated towards linking land use and transport system. In this context, the novel concept of “mobility environments” appears having successful applications in daily practice. This paper aims to gain insight into exploring useful tools in defining the spatial dimension of “mobility environments”. To address this, a research methodology based on using spatial metrics through moving window has been developed. This methodology measures different spatial characteristics of a set of “mobility environments” previously defined in Metropolitan Area of Granada (Spain). Then, an analysis based on a Mann-Whitney U test. Obtained results reveal the initial exploration of unstudied research field with potential to link land use and transport system.

Key words: Sustainable, metropolitan, spatial metrics, Light Rail train

Explorer les metriques spatiaux pour identifier ‘environnements de mobilité urbaines’

RÉSUMÉ

Arriver à la planification durable des transports urbains a été une des principaux raisons de développer des concepts orientés à attacher de manière effective l'structure urbaine et le système de transport. Dans ce contexte s'originent les 'environnements de mobilité' avec les outils intégrées de planification avec de succès importants dans différents milieux contextuels. Cet article a pour objectif l'exploration des outils pour caractériser le composant spatial des environnements de mobilité. Ce pour ça qu'on a dessiné une méthode basée sur métriques spatiaux de fenêtre mobile pour mesurer différents caractéristiques spatiaux 'd'environnements de mobilité' définis antérieurement dans l'agglomération urbaine de Grenade (Espagne). L'application du test Krustal Wallis a permis évaluer l' adéquation des métriques spatiaux. Les résultats obtenus montrent un nouveau camp de travail sans explorer avec un haut potentiel de progresser en la relation entre le transport et l'usage du sol.

Mots clés : Développement durable, agglomération urbaine, metriques spatiaux, Tramway

1. INTRODUCCIÓN

Al igual que en muchos otros campos de la planificación, la reducción de los impactos ambientales del transporte urbano se considera decisiva para alcanzar una mayor sostenibilidad en nuestras ciudades (Banister, 2005; Banister et al, 2011 Litman, 2009). La respuesta a esta problemática está relacionada con encontrar maneras de alcanzar un equilibrio entre los efectos negativos que la movilidad motorizada produce sobre nuestro entorno, a la vez que se preservan los beneficios que ésta depara al conjunto de la sociedad.

En este contexto, un gran número de académicos están de acuerdo en que la forma más adecuada de alcanzar el mencionado equilibrio pasa por integrar de una manera efectiva estructura urbana y sistema de transporte (Banister, 2008; Miralles-Guasch y Domene, 2010; Silva y Pinho, 2011). De este modo, múltiples investigaciones ponen su acento en explorar cuáles son los factores que mejor explican las relaciones entre

estructura urbana y sistema de transporte o cuáles son los externalidades que de ello se derivan (Cervero y Kockelman, 1997; Ewing y Cervero, 2012; Wagener y Furst, 1999). A pesar de la creciente aparición de estudios en este campo, su aplicación en el día a día de la planificación parece todavía lejana.

Para intentar paliar este hecho, han emergido conceptos de planificación como el de “entornos de movilidad”, que pretenden otorgar a la movilidad un papel central dentro del proceso de planificación. Inicialmente propuestos por Bertolini y Dijst (2003), los “entornos de movilidad” son entendidos como unidades geográficas sobre las que establecer pautas de planificación, definiéndose a partir de una triple dimensión: (i) estructura urbana o componente espacial; (ii) accesibilidad o componente móvil; (iii) interacción humana o componente social. Aunque la componente espacial de los “entornos de movilidad” es uno de los aspectos más estudiados, esencialmente en términos del efecto que produce sobre la movilidad motorizada la densidad (vivienda, empleos, etc.) y el tipo de actividades presentes (Cervero y Kockelman, 1997; Ewing y Cervero, 2001; 2012; Naess, 2009; Pitombo et al., 2010), la caracterización de la dimensión puramente espacial, o física si se quiere, de éstos en lo que respecta a distribución y localización espacial de usos del suelo ha sido tímidamente abordada. El motivo de ello puede ser debido –entre otros– al menor desarrollo de indicadores específicos en este campo.

Ante este panorama, las métricas espaciales (*spatial metrics*, Herold et al, 2003) podrían ser útiles para aportar luces en este sentido. Inicialmente utilizadas para medir funciones ecológicas implícitamente vinculadas con la composición del paisaje (Di Bari, 2007; Luck and Wu, 2002), están siendo ampliamente utilizadas para caracterizar factores asociados a la forma urbana (Aguilera et al, 2011; Herold et al., 2003). Este hecho invita a pensar que tales métricas también podrían ser de utilidad para medir aspectos asociados a la componente espacial de los “entornos de movilidad” como, por ejemplo, la proximidad entre los usos del suelo y su efecto sobre la movilidad no motorizada o la diversidad espacial como parámetro de planificación de la movilidad. No obstante, a pesar de la creciente vinculación de dichas métricas espaciales con contextos urbanos (Alberti and Marzluff, 2004; Alberti and Waddell, 2000; Berling-Wolf and Wu, 2004; Geoghegan et al., 1997), son muy escasos los trabajos que las asocian a contextos intraurbanos, como ocurre en este caso específico de los “entornos de movilidad”. Este hecho suscita un especial interés en el ámbito científico de cara a estudiar el binomio “entorno de movilidad-métrica espacial”.

El presente artículo trata de profundizar sobre la problemática presentada explorando cómo medir la componente espacial de “entornos de movilidad” urbanos utilizando métricas espaciales, concretamente métricas calculadas mediante el método de “ventana móvil” (*moving window*). Como caso de estudio se utilizará el Área Metropolitana de Granada (AMG) en España, donde las instituciones públicas – locales y regionales- han apostado por introducir un sistema de metro ligero como eje estructurante de unas nuevas pautas de movilidad más sostenibles. Se definieron previamente cuatro “entornos de movilidad” diferentes a lo largo del trazado del sistema de metro ligero, con el fin de generar pautas de planificación que facilitasen

la integración urbana de este nuevo sistema de transporte público (Soria-Lara, 2011). La componente espacial de tales “entornos de movilidad” se ha cuantificado utilizando tres tipos de métricas espaciales incorporadas en el software Fragstats (www.umass.edu). Posteriormente se utilizó la prueba U de Mann-Whitney para evaluar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los resultados obtenidos para cada métrica espacial en cada “entorno de movilidad”. La existencia de diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) fueron asociadas a una alta sensibilidad de las métricas espaciales para medir ciertos aspectos vinculados con la componente espacial de los “entornos de movilidad” y viceversa.

El resto del artículo queda estructurado de la siguiente forma. En el apartado 2 se presentan los materiales y métodos utilizados a lo largo de la investigación. Destaca la presentación del área de estudio y de los diferentes “entornos de movilidad” identificados en ésta, que serán utilizados para comprobar la utilidad de las métricas espaciales a la hora de estudiar su componente espacial. Además, el apartado incluye una descripción de la relación entre métricas espaciales y “entornos de movilidad”, a la vez que detalla cada uno de los aspectos metodológicos seguidos en el trabajo. El apartado 3 mostrará los resultados obtenidos. Finalmente, en el apartado 4 se sintetizan las principales conclusiones de la investigación a la vez que se abre una discusión sobre ventajas e inconvenientes de usar métricas espaciales en la identificación de “entornos de movilidad” urbanos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

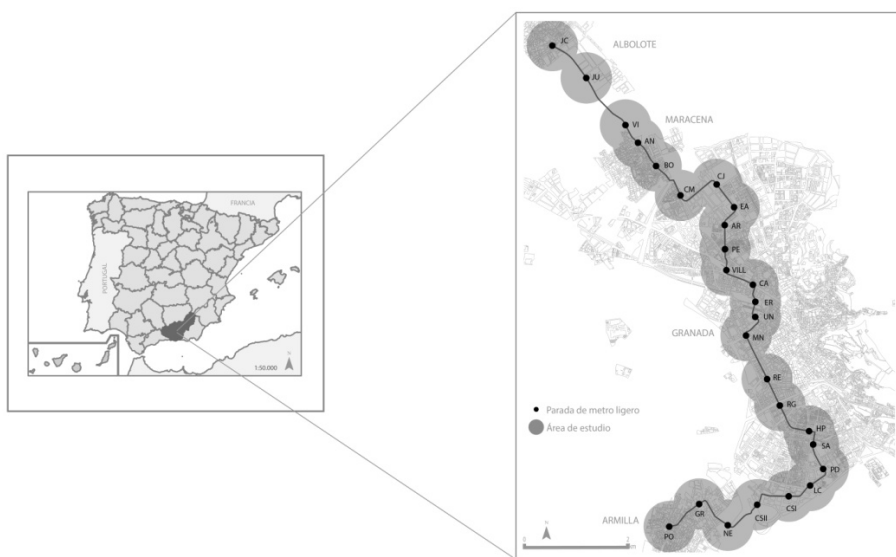
2.1. ÁREA DE ESTUDIO

El Área Metropolitana de Granada (AMG) está compuesta por 32 municipios y aproximadamente 600.000 habitantes. Durante las últimas décadas las relaciones urbanas, económicas y sociales entre los municipios que conforman este espacio geográfico se han visto notablemente reforzadas, propiciando una creciente identidad metropolitana en la región (Aguilera, 2008). Paralelamente, ha existido un incremento de los flujos de movilidad existentes, especialmente a través del vehículo privado (Soria-Lara, 2011). Como respuesta a esta situación, los gobiernos locales y regionales decidieron a principios del Siglo XXI impulsar la implantación de un sistema de metro ligero en el principal corredor de movilidad urbana de cuatro de los municipios más importantes del AMG: Albolote, Armilla, Granada y Maracena. El sistema de metro ligero actuaría como elemento estructurante de una nueva política de movilidad en la región (Valenzuela-Montes et al, 2011).

El ámbito geográfico utilizado en esta investigación se corresponde con un corredor de 500m en torno al trazado del sistema de metro ligero propuesto para los cuatro municipios previamente citados (figura 1). Esta distancia de 500 m es considerada en la literatura especializada como aquella distancia crítica a partir de la cual, la influencia del sistema de metro ligero sobre los ciudadanos residentes decae sensiblemente (Hass-Klau C y Crampton G, 2005; Vuchic, 2005).

La fuente de información para la realización del presente estudio fue la cartografía de la Dirección General de Catastro con fecha de 2011 con información del uso del suelo a escala parcelaria. Esta información, en formato vectorial, requirió de una transformación al formato raster para poder realizar el cálculo de las métricas espaciales en el software Fragstats. No obstante, como paso previo, fue necesario adaptar la leyenda temática de la información de partida a las necesidades propias de la investigación. El principal problema encontrado en esta fase fue cómo sintetizar la distribución vertical (en altura) de usos del suelo existente para cada parcela, en una cubierta de información con único registro temático para cada una de las ciudades parcelas urbanas. Esta situación ocurría fundamentalmente en el caso de zonas residenciales en altura con locales de tipo comercial en planta baja, por lo que se optó por codificar tales zonas residenciales como “residencial mixto” que incluía tanto actividad residencial como comercial. Con todo, la leyenda final que quedaría codificada en formato raster fue la siguiente: residencial, residencial-mixto (residencial + actividad comercial), industrial, equipamiento intermodal, equipamiento deportivo, equipamiento cultural, equipamiento administrativo, equipamiento sanitario, equipamiento docente, comercial, zonas verdes y sin edificar.

Figura 1. Localización geográfica del área de estudio y detalle de la misma.



Fuente: Elaboración propia.

2.2. DATOS DE PARTIDA

Para la conversión en formato raster de la información vectorial, un aspecto crítico fue la selección del tamaño de pixel. Dicha selección se realizó atendiendo a la búsqueda de un equilibrio entre la unidad mínima cartografiada (usos del suelo definidos) y el tiempo de procesamiento requerido en el cálculo de las métricas espaciales de ventana móvil por parte del software Fragstats. En dicho proceso de transformación se probaron los siguientes tamaños de pixel: 2, 5, 10, 20 y 25m de lado. Tales pruebas se realizaron en el tramo central del trazado del metro ligero del AMG, ya que en él quedaban representados la totalidad de categorías temáticas que integraba la leyenda configurada. En los tamaños de pixel de 2 y 5m de lado se comprobó que los usos del suelo propuestos en la leyenda eran correctamente cartografiados y discriminados en el proceso de transformación a formato raster, en cambio, el procesamiento de las métricas espaciales de ventana móvil por parte del software Fragstats era difícil, ya que se necesitaba un elevado número de cálculos. Por el contrario, para los tamaños de 20 y 25m la velocidad de cálculo por parte del software Fragstats era adecuada, pero con ese tamaño de pixel, que en muchos casos superaba la distancia de las calles contenidas en el área de estudio, no existía un correcto cartografiado de los usos del suelo existentes. De este modo, se optó por un tamaño de pixel intermedio de 10m de lado como el tamaño óptimo para nuestra investigación.

2.3. “ENTORNOS DE MOVILIDAD”. CONCEPTO E IDENTIFICACIÓN EN EL ÁREA METROPOLITANA DE GRANADA

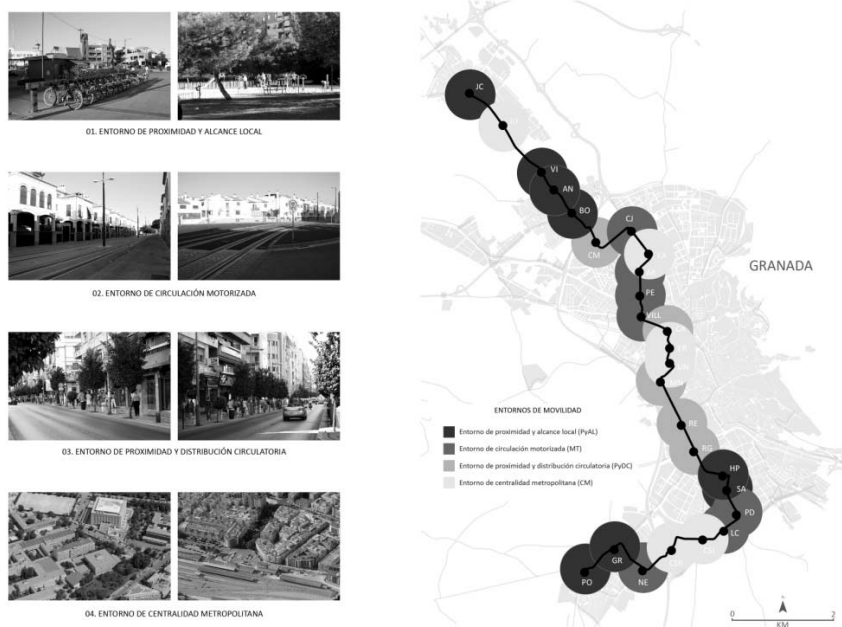
Para llevar a cabo el objetivo principal del presente artículo se han utilizado cuatro “entornos de movilidad” previamente definidos por Soria-Lara (2011) en torno al sistema de metro ligero del AMG. Antes de introducir las características fundamentales de cada uno de estos cuatro “entornos de movilidad” conviene destacar algunos aspectos a nivel conceptual.

Durante la última década, los “entornos de movilidad” han sido aplicados con éxito creciente en diferentes ámbitos escalares y contextuales. Fueron introducidos por Bertolini y Dijst (2003) como un concepto planificador que enraizaba en los vínculos entre accesibilidad y estructura urbana. De este modo, tales autores (2003, p. 28) entienden los “entornos de movilidad” como lugares definidos conjuntamente por unas características comunes en cuanto a accesibilidad (componente móvil) y estructura urbana (componente espacial). Esta interacción daría lugar a un marco contextual que potencia determinados tipos de interacciones humanas entre los usuarios del transporte (componente social). En su origen, fueron claves para entender la influencia de los nodos de transporte sobre la localización de actividades (Bertolini, 2006).

Resultados exitosos derivados de la aplicación de los “entornos de movilidad” pueden consultarse en Zanvliedt et al (2008), donde diversos “entornos de movilidad”

fueron identificados en los Países Bajos para estimar el funcionamiento de esos lugares de acuerdo a las características de su “población móvil”, así como, otra aplicación interesante se puede consultar en Bertolini (2006) donde los “entornos de movilidad” son utilizados para la planificación de los principales nodos de comunicación en la región del Randstad holandés. También en España se encuentran aplicaciones novedosas. En este sentido, en la propia AMG los “entornos de movilidad” se han aplicado para la generación de directrices de integración de sistemas de transporte público como el metro ligero (Soria-Lara y Valenzuela-Montes, 2014), así como para el desarrollo de instrumentos de evaluación de la calidad peatonal de la ciudad (Talavera-García et al, 2014).

Figura 2. “Entornos de movilidad” y entorno de las paradas en el trazado del sistema de metro ligero del Área Metropolitana de Granada



Fuente: Elaboración propia.

Centrando el discurso sobre el caso de estudio del presente artículo, cabe mencionar que Soria-Lara (2011) identifica hasta cuatro “entornos de movilidad” diferentes a lo largo del trazado del metro ligero del AMG y que serán utilizados para comprobar la utilidad de las métricas espaciales de acuerdo a los objetivos descritos en el apartado introductorio. Tales “entornos de movilidad” fueron los siguientes (figura 2): (i) Entorno de proximidad y alcance local; (ii) Entorno de proximidad y

distribución circulatoria; (iii) Entorno de circulación motorizada; (iv) Entorno de centralidad metropolitana. Durante su identificación se utilizaron hasta un total de nueve indicadores relativos a elementos de la estructura urbana (densidad, distribución temporal de actividades urbanas, etc.) y del sistema de transporte (índices de motorización, niveles de tránsito diario, etc.). Diferencias estadísticamente significativas fueron obtenidas para los indicadores utilizados respecto de cada “entorno de movilidad”, lo que contribuye a su idoneidad para comprobar si el uso de métricas espaciales es más o menos útil a la hora de discriminar en sus resultados a tales “entornos de movilidad” (Soria-Lara, 2011).

El *entorno de proximidad y alcance local* hacía referencia a aquellos lugares del corredor cuya movilidad estaba caracterizada por una fuerte dimensión local del medio urbano y, por lo tanto, la mayoría de sus flujos de movilidad se encontraban altamente mediatizados por demandas locales y no motorizadas del entorno inmediato del corredor.

El segundo de los “entornos de movilidad” identificados recibió el nombre de *entorno de proximidad y distribución circulatoria*. Hacía referencia a aquellos lugares del corredor cuya movilidad no solo estaba caracterizada por una fuerte dimensión local del medio urbano, como ocurría en el caso anterior, sino que además tenían funciones de distribución de tráfico entre diferentes lugares del corredor, o bien entre el corredor y el resto del sistema urbano.

El *entorno de circulación motorizada* fue el tercer “entorno de movilidad” definido. Se corresponde con aquellos lugares del corredor cuya movilidad estaba marcada por una muy débil dimensión local del medio urbano, aspecto que reforzaba su condición como lugares de tránsito y/o circulación motorizada. El cuarto y último “entorno de movilidad” fue denominado *entorno de centralidad metropolitana*. Se refería a aquellos lugares del corredor cuya movilidad estaba basada en una fuerte especialización urbana, básicamente en lo que respecta a los usos industrial-tecnológico, equipamientos públicos y grandes estaciones intermodales (estación regional de autobuses y trenes). En este sentido, estos lugares se convertían en unos de los principales centros de atracción y generación de flujos de movilidad dentro del corredor.

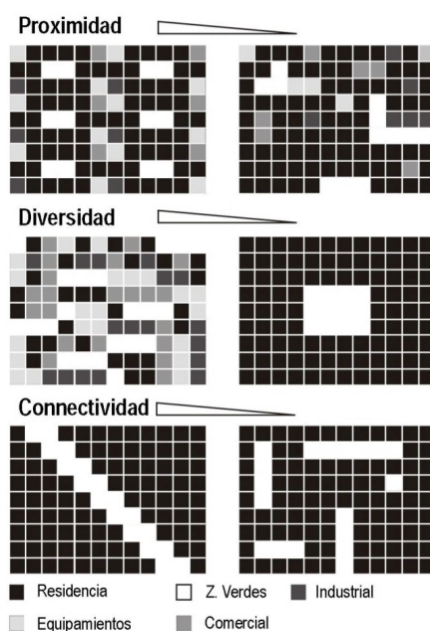
2.4. LA COMPONENTE ESPACIAL DE LOS “ENTORNOS DE MOVILIDAD”

Tal y como se ha indicado con anterioridad, los “entornos de movilidad” identificados en el AMG presentan ciertas características espaciales que permiten profundizar sobre las diferencias existentes en el binomio movilidad motorizada-movilidad no motorizada en cada uno de ellos. Tales atributos espaciales son (figura 3): (i) proximidad; (ii) diversidad; (iii) conectividad de zonas verdes. Para cada uno de ellos se seleccionó una métrica espacial, cuyos resultados integrarán la parte central del resto del artículo.

La *proximidad* como atributo espacial indicaría la cercanía de las distintas actividades urbanas (equipamientos público, comercial, zonas verdes etc.) a la residencia habitual de los ciudadanos. De este modo, aquellos “entornos de

movilidad” con mayor proximidad harán referencia a espacios donde sus ciudadanos recorren distancias más homogéneas y más pequeñas para acceder a la totalidad de usos del suelo de ese lugar y viceversa. En vista de lo anterior, valores altos de proximidad estarían asociados a “entornos de movilidad” con un carácter más local, mientras que valores bajos de proximidad se asociarían a “entornos de movilidad” donde predomina un tránsito más motorizado.

Figura 3. Representación esquemática de los atributos espaciales “proximidad”, “diversidad” y “conectividad de zonas verdes”



Fuente:Elaboración propia.

En cuanto a la *diversidad* como atributo espacial, haría referencia a la existencia de un mayor número de actividades urbanas diferentes dentro de un “entorno de movilidad” determinado. En este sentido, valores más altos de diversidad indicarían que los residentes de un “entorno de movilidad” podrían cubrir un mayor número de necesidades diarias en las cercanías de su residencia habitual, disminuyendo la necesidad de utilizar modos de transporte motorizados y viceversa.

El tercer atributo espacial utilizado en esta investigación es la *conectividad de zonas verdes*, ya que éstas son esenciales en el diseño y concepción de una infraestructura de movilidad alternativa a los sistemas de transporte motorizados y basada fundamentalmente en la actividad peatonal y en bicicleta. Por lo tanto, “entornos de movilidad” con una alto grado de conectividad de sus zonas verdes

reforzarían una dimensión más local de su movilidad reduciendo la necesidad de utilizar sistemas de transporte motorizados.

2.5. MÉTRICAS ESPACIALES PARA LA CARACTERIZACIÓN DE “ENTORNOS DE MOVILIDAD”

Las métricas espaciales (*spatial metrics* en voz inglesa) aplicadas al estudio de paisajes urbanos (Herold et al, 2003) han adquirido cada vez más popularidad en los estudios relacionados con las cuestiones urbanas, generándose una gran producción bibliográfica centrada en el análisis de las formas urbanas en ciudades de todo el mundo. A pesar de la diferencia de enfoques existentes, aparecen limitaciones comunes al uso de las métricas espaciales en el análisis de la estructura urbana. Una de ellas es la dificultad para realizar análisis que vayan más allá del estudio de la “mancha urbana”, es decir, profundizar en el estudio de las características intraurbanas como las que se pretenden analizar aquí respecto de los “entornos de movilidad”.

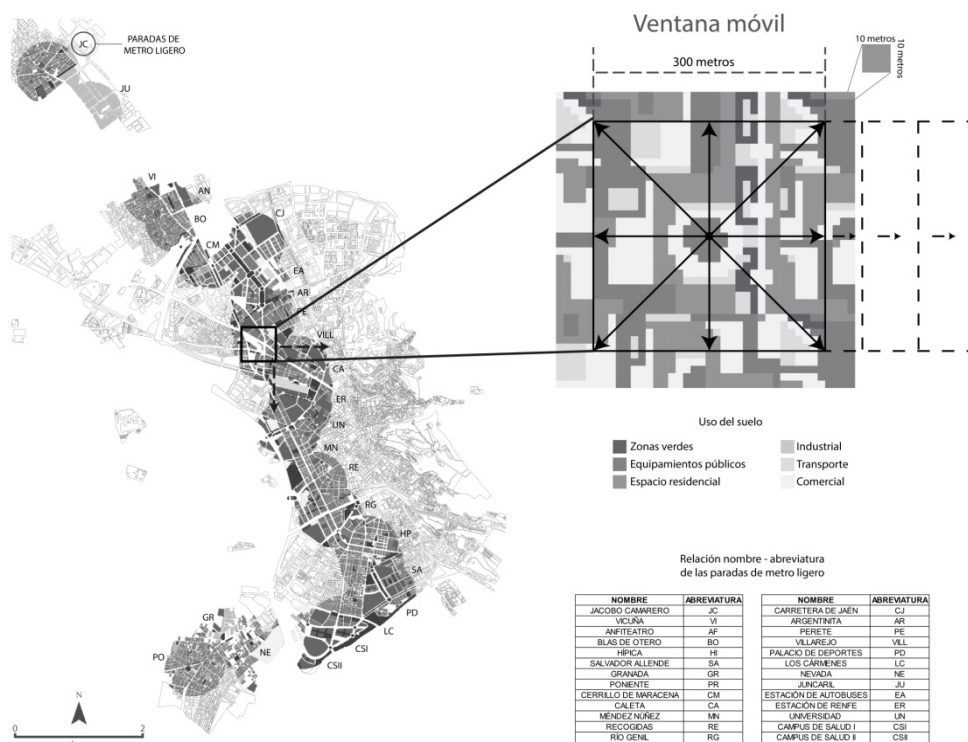
Para solventar esta cuestión y poder analizar patrones de ocupación intraurbana, algunos autores han recurrido a dividir la “mancha urbana” mediante el uso de coronas (Ji et al., 2006; Tv et al., 2012; Xu et al., 2007; Sun et al 2006; Jain et al., 2011), transectos a lo largo de la ciudad (Shrestha et al., 2012; Pham and Yamaguchi, 2011; Yang et al., 2010; Xie et al., 2006) o a partir de la línea de costa, de modo que se pudiesen estudiar las diferencias entre distintas zonas de una misma área urbana.

Otra alternativa para realizar análisis intraurbanos y en gran auge en el momento actual dentro de la comunidad científica la constituyen las métricas espaciales calculadas con ventana móvil (Gaucherel, 2007; Kong y Nakagoshi, 2006; Diaz-Varela et al, 2009; Yeh y Huang, 2009) o “*moving-window*”. Mediante este método el valor de cada métrica espacial se calcula para cada píxel, teniendo en cuenta los usos del suelo de los píxeles de alrededor, definidos mediante una ventana de vecindad previamente establecida. La principal ventaja del uso de este método radica en que permite realizar un análisis intraurbano al obtener un “mapa” que representa el valor de la métrica en cada píxel, en función de sus usos vecinos.

Dadas las razones expuestas, en esta investigación se decidió trabajar a nivel metodológico usando métricas espaciales de ventana móvil inspirándonos en trabajos previos de diferentes autores (Gaucherel, 2007; Kong y Nakagoshi, 2006; Tsung Yeh y Huang, 2009). La principal dificultad que presenta esta técnica es la necesidad de definir una ventana de cálculo o vecindad. En nuestro caso de estudio se utilizó un tamaño de ventana móvil de 300m de geometría rectangular para un tamaño de píxel de 10m (figura 4). La ventana de vecindad para nuestro análisis fue de 300m por diferentes razones. Por un lado, el hecho de contar con un tamaño de píxel relativamente pequeño (10m) condicionaba el uso necesario de una ventana de vecindad grande que mostrase adecuadamente las diferencias existentes entre los distintos usos del suelo que integraban el estudio. Por otro lado, el “efecto calle” que acontece al utilizar tales métricas espaciales en ámbitos intraurbanos condicionaba sensiblemente el tamaño de la ventana, ya que ésta ha de ser suficientemente grande

como para anular dicho efecto. El “efecto calle” únicamente tiene lugar en contextos intraurbanos y hace que los usos del suelo no sean estrictamente colindantes tal y como ocurre en zonas rurales, ya que están separados por las calles de la ciudad, que pueden ser “omitidas” del análisis utilizando ventanas de vecindad de grandes tamaños. En el caso de nuestra área de estudio, la anchura máxima de las calles podía llegar a ser de 27,8 m, lo que atendiendo a la superficie de usos del suelo, hacía necesaria una ventana de vecindad que superase los 280 m de lado, de ahí que se optase tras varios ensayos, por una ventana final de 300m.

Figura 4. Esquema metodológico de la aplicación de métricas espaciales de ventana móvil en el corredor de movilidad del AMG.

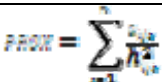
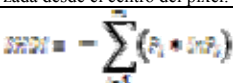



Fuente: Elaboración propia.

Definidas las características de la vecindad y el tamaño de píxel, para tratar de medir los tres atributos espaciales señalados en el apartado 2.4 de cada “entornos de movilidad”, fue necesario seleccionar un conjunto de métricas espaciales de las disponibles en el software Fragstats (www.umass.edu). Se seleccionaron tres métricas espaciales, una para cada uno de los tres atributos espaciales que se medirían en cada

“entorno de movilidad” (proximidad, diversidad y conectividad de zonas verdes). Dos de las métricas seleccionadas fueron calculadas a nivel de mosaico, concretamente: el índice de proximidad (PROX) para medir el atributo proximidad y índice de diversidad de Shannon (SHDI) para medir el atributo diversidad. En el caso de la conectividad de zonas verdes se utilizó el índice de agregación (AI) a nivel de clase (tabla 1).

Tabla 1. Descripción de las métricas espaciales seleccionadas

Atributo espacial de los “entornos de movilidad”	Métrica espacial	Descripción	Unidades	Rango de valores
Proximidad	Índice de proximidad (PROX)	 <p>donde $a_{i,j}$ es el área (m) de cada mancha i,j dentro de una vecindad específica (m²) de una mancha i,j; $d_{i,j}$ es la distancia (m) entre la mancha i,j y la mancha i,j, basado en la distancia borde a borde de cada mancha, contabilizada desde el centro del pixel.</p>	No tiene	PROX ≥ 0 . Su aumento indica un aumento de la proximidad entre los diferentes usos del suelo considerados
Diversidad	Índice diversidad Shannon (SHDI)	 <p>donde P_i es la proporción de territorio ocupada por un determinado usos del suelo</p>	No tiene	SHDI ≥ 0 . Su aumento indica un aumento de la diversidad. Cuando SHDI = 0 significa que ese “entorno de movilidad” solo alberga un tipo de uso
Conectividad del espacio verde	Índice de agregación (AI)	 <p>donde g_{ii} es el número de pixeles adyacentes para un mismo tipo de usos del suelo; $\max g_{ii}$ es el número máximo de pixels que podrían ser adyacentes en un entorno dado.</p>	Porcentaje	AI tiene un rango de valores entre 0 y 100, siendo 100 la máxima agregación posible de un determinado uso del suelo y viceversa.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para determinar si las tres métricas espaciales seleccionadas: PROX, SHDI y AI son lo suficientemente sensibles como para detectar diferencias entre los atributos espaciales de los cuatro “entornos de movilidad”, se decidió utilizar un test estadístico que permitiese valorar si existían diferencias estadísticamente significativas para los resultados obtenidos por parte de las métricas espaciales respecto de cada uno de ellos”. Análisis previos respecto de la independencia de los resultados de cada una de las tres métricas espaciales, la distribución normal o no normal de tales resultados, así como la homogeneidad de sus varianzas, determinaron la necesidad de utilizar la prueba no paramétrico U de Mann-Whitney.

En el caso de que los resultados de la prueba U de Mann-Whitney mostrasen la existencia de diferencias estadísticamente significativas (considerando un nivel de significación $p < 0,05$) entre los distintos “entornos de movilidad”, se podría convenir sobre la idoneidad de utilizar este tipo de métricas espaciales para la definición de la dimensión espacial de tales “entornos de movilidad”. Por el contrario, en caso de no

apreciar tales diferencias, sería necesario valorar cuáles son los posibles problemas derivados del empleo de tales métricas espaciales a la hora de identificar posibles “entornos de movilidad” en un ámbito urbano dado. La tabla 2 ilustra el comportamiento teórico que cabría esperar de los resultados de las métricas espaciales conforme a las características particulares de cada uno de los cuatro “entornos de movilidad” considerados en la presente investigación.

Tabla 2. Relación entre métricas espaciales y “entornos de movilidad”.

MÉTRICA ESPACIAL	“ENTORNOS DE MOVILIDAD”			
	Entorno de proximidad y alcance local	Entorno de proximidad y distribución circulatoria	Entorno de circulación motorizada	Entorno de centralidad metropolitana
Índice de Proximidad (PROX)	Alto. Existe una gran riqueza de usos muy cercanos entre.	Alto. Existe una gran riqueza de usos muy cercanos entre sí.	Bajo. Es un espacio monofuncional centrado en la actividad residencial.	Medio. Aunque es un espacio monofuncional a nivel metropolitano, incluye una cierta variedad de usos del suelo.
Índice de Shannon (SHDI)	Alto. Existe una gran riqueza de usos.	Alto. Existe una gran riqueza de usos.	Bajo. Es un espacio donde se concentra mayoritariamente uso residencial	Bajo. Es un espacio donde se concentra mayoritariamente usos industriales y comerciales.
Índice de agregación del espacio verde (AI)	Medio. En nuestro corredor este “entorno de movilidad” se ubica en los cascos más antiguos de la ciudad, donde la dotación de	Alto. Existe una amplia dotación de espacio verde que contribuye al diseño de rutas peatonales.	Alto. A pesar de que este “entorno de movilidad” está orientado al automóvil y no al peatón, está ubicado sobre crecimientos nuevos de la ciudad que fueron dotados de una amplia red de espacio	Medio-Bajo. La alta concentración de actividades de tipo metropolitano reduce la implementación de espacio para el ocio y el descanso como son los espacios

Fuente: Elaboración propia.

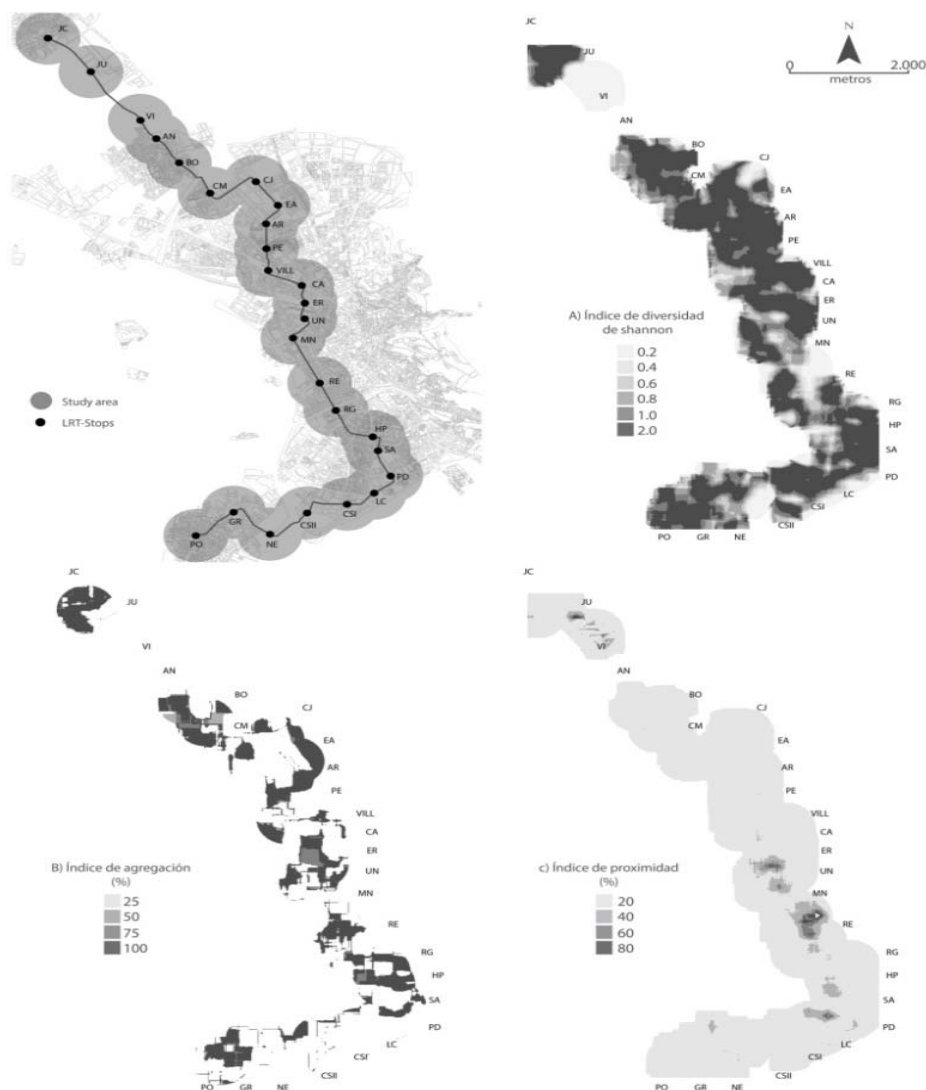
3. RESULTADOS

3.1 MÉTRICAS ESPACIALES Y “ENTORNOS DE MOVILIDAD”. ANÁLISIS DESCRIPTIVO

Antes de profundizar sobre las particularidades de los resultados obtenidos, conviene indicar cómo fueron tratados tales resultados en cada métrica espacial. La ventaja de la técnica de ventana móvil es la de obtener un valor de cada métrica para cada pixel que conforma el entorno de las estaciones de metro ligero utilizadas en la investigación (figura 5). Una vez tomados todos los valores para el total de pixeles del ámbito de estudio y comprobada que la muestra no seguía una distribución normal, se realizaron dos tratamientos diferentes para estos datos (figura 6). Por un lado, se calculó la mediana de los valores de cada métrica correspondientes al conjunto de pixeles que conforman el entorno de cada una de las estaciones de metro ligero, para así obtener una descripción de la variación de los resultados a lo largo del trazado de éste. De esta forma fue posible valorar en qué medida los valores de la métrica en cada estación permitían caracterizar su pertenencia a uno u otro entorno de movilidad

Por otro lado, se calculó la mediana del conjunto de píxeles que conforman cada “entorno de movilidad” y compuestos a su vez por los entornos de varias estaciones de metro ligero. Esto permitió comparar con un único valor unos “entornos de movilidad” respecto de otros.

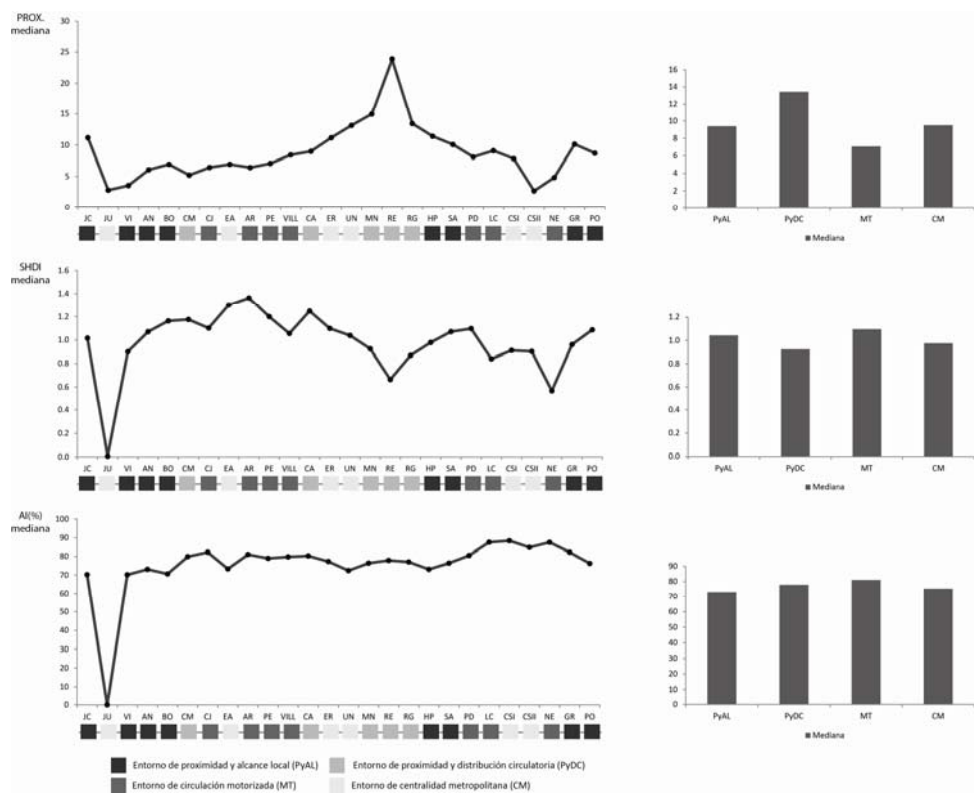
Figura 5. Representación cartográfica de los resultados de las métricas espaciales de ventana móvil en el corredor del AMG



Fuente: Elaboración propia.

Comenzando por la proximidad como primer atributo espacial de los “entornos de movilidad” y medido a partir de la métrica espacial PROX, se pudo apreciar que los resultados obtenidos a lo largo del corredor de movilidad del AMG fueron coherentes con los cuatro “entornos de movilidad” utilizados (figura 6). En este sentido, tanto el *entorno de proximidad y alcance local* como el *entorno de proximidad y distribución circulatoria* presentaban valores más altos de la métrica PROX que el resto de “entornos de movilidad” (con medianas de 9,38 y 13,43 respectivamente), lo que ponía en relieve una mayor proximidad de los diferentes usos del suelo entre sí en estos entornos. Por el lado contrario, el *entorno de circulación motorizada* obtuvo el valor más bajo de la métrica PROX con una mediana de 7,06, tal y como cabría esperar de acuerdo con su propia definición.

Figura 6. Resultados de las métricas espaciales en el corredor de movilidad de la AMG².



² A la izquierda valores medianos de las métricas en cada estación de metro ligero. A la derecha valores medianos para cada “entorno de movilidad”.

Continuando con la métrica PROX, cobran especial interés los resultados obtenidos para aquellos tramos del corredor donde está ubicado el *entorno de proximidad y distribución circulatoria*, especialmente en el caso del tramo Recogidas (RE) que presentaba el valor más alto de la métrica PROX (23,88). El *entorno de la estación de metro ligero* de Recogidas (RE) es uno de los lugares del corredor que presenta una mayor riqueza de usos del suelo y la población residente puede generalmente solventar cualquier tipo de actividad diaria sin necesidad de utilizar transporte motorizado. De hecho, es uno de los lugares del corredor con mayor actividad comercial y administrativa, como reflejo de la situación descrita.

El segundo atributo espacial medido ha sido la diversidad a través de la métrica espacial SHDI. A diferencia de la métrica espacial PROX, los resultados de SHDI (figura 6) apenas se mostraron diferentes para cada uno de los “entornos de movilidad” que integraron la investigación. Tales resultados fueron ligeramente más altos en los casos del *entorno de proximidad y alcance local* junto con el *entorno de circulación motorizada* que en el resto (con medianas de 1,04 y 1,09 respectivamente). Situación que además no parece corresponderse con las características propias de los “entornos de movilidad” identificados en el corredor del AMG, donde los valores más bajos de diversidad debían teóricamente ser encontrados en el *entorno de circulación motorizada* y los más altos en el *entorno de proximidad y alcance local* junto con el *entorno de proximidad y distribución circulatoria*.

El motivo fundamental de este hecho podría ser consecuencia del proceso de elaboración de la cartografía raster en las etapas iniciales de la investigación. Tal y como se indicó en el apartado 2.2, al trabajar en formato raster (requerido por el software Fragstats) hubo que simplificar la riqueza vertical de usos del suelo existente en el medio urbano. Esta cuestión ha podido contribuir a un cierto grado de homogenización del nivel de usos del suelo existente a lo largo del área de estudio, al que podría ser muy sensible la métrica SHDI y no el resto de métricas utilizadas en la investigación. Esta situación se pudo apreciar de forma muy clara en los tramos centrales del corredor y, especialmente, en torno al tramo de Recogidas (RE). Mientras que la simplificación de información a la hora de elaborar las cubiertas de información raster no parecía haber afectado a la métrica PROX, sí que parece que afectó al SHDI, ya que algo que resultó evidente a nivel cualitativo en el corredor (que el entorno de la estación RE es el que posee una mayor riqueza de actividades y servicios para el ciudadano) no aparece recogido en el SHDI que mostró valores bajos de diversidad (0,66) en esta estación. La diferencia de una y otra métrica a este respecto parece estar relacionada con la distribución de los usos del suelo. Mientras que la métrica PROX tiene en cuenta tanto la riqueza de usos como su distribución espacial, la métrica SHDI se limita a valorar la probabilidad de encontrar usos diferentes en un mismo espacio geográfico.

En tercer lugar fue medido el atributo espacial conectividad de espacios verdes usando la métrica AI. En este caso el comportamiento espacial de los resultados guardó una relación evidente con las características propias de los “entornos de movilidad” utilizados (figura 6). Se da la paradoja de que en el AMG, la principal dotación de espacio verde se ha producido en lugares donde predomina los niveles de circulación motorizada y una tipología edificatoria de carácter unifamiliar (por ejemplo en el entorno de estaciones como “Carretara de Jaén”, “Argentinita” o “Estadio de los Carmenes”). Estas características se corresponden plenamente con el *entorno de circulación motorizada*. La razón fundamental es que este “entorno de movilidad” se ubica en aquellos lugares del corredor que se han desarrollado en los 15 últimos años (por ejemplo las estaciones citadas anteriormente) lo que ha facilitado una mayor dotación de espacio, pero en localizaciones poco consolidadas y poco complejas a nivel urbano, donde las tasas de circulación motorizada destacan fuertemente en comparación con el resto del área de estudio.

De esta forma, destacó un AI del 80% en el caso del *entorno de circulación motorizada*, en contrapunto con el *entorno de centralidad metropolitana* que ronda el 69%. Dado que el *entorno de centralidad metropolitana* está especializado en concentrar actividades de carácter metropolitano, siendo centros importantes de atracción de viajes focalizados preferentemente en horario laboral, parece tener sentido que la conectividad del espacio verde sea menor que en el resto del corredor del AMG, tal y como reflejaron los resultados obtenidos.

3.2 RESULTADOS DE LA PRUEBA U DE MANN-WHITNEY

Una vez presentados y descritos los principales resultados obtenidos por las tres métricas espaciales, en esta parte de la investigación se analizó si los resultados obtenidos por dichas métricas para cada “entorno de movilidad” eran estadísticamente diferentes así como las posibles consecuencias en relación con la utilidad de tales métricas espaciales en la definición de “entornos de movilidad”. Para ello se utilizó la prueba U de Mann-Whitney tal y cómo se justificó en el apartado metodológico. Este test estadístico no paramétrico permitió comprobar si el conjunto de resultados obtenidos para cada “entorno de movilidad” eran diferentes a un determinado nivel de significación, en nuestro caso $p < 0,05$. De este modo, cuando los estadísticos obtenidos por cada métrica espacial sean menores de 0,05, indicaban la existencia de diferencias significativas entre los distintos “entornos de movilidad” y viceversa. Asumimos así que la existencia de diferencias estadísticamente significativas apuntaba hacia la idoneidad de las métricas espaciales para discriminar los “entornos de movilidad” utilizados en la investigación. Los resultados obtenidos se pueden consultar en la tabla 3.

Comenzando por el caso particular de la métrica PROX, cabe destacar que a pesar de que sus resultados guardaran cierta coherencia con las características propias de los cuatro “entornos de movilidad” tal y como se apuntó en el apartado previo, las diferencias de los resultados no fueron estadísticamente significativas a nivel de 0,05 en ningún caso. La prueba U de Mann-Whitney mostró que esta métrica permitía

distinguir diferencias -aunque no a un nivel significativo- entre el *entorno de circulación motorizada* y el *entorno de proximidad y alcance local* (0,08), así como, con el *entorno de proximidad y distribución circulatoria* (0,187). Tales resultados guardan lógica con las particularidades de estos “entornos de movilidad”. Mientras que el *entorno de circulación motorizada* se orienta fundamentalmente a lugares del corredor donde predomina el uso del vehículo privado, en los otros dos “entornos de movilidad” mencionados el peso de la movilidad peatonal y no motorizada es mucho más fuerte. Por el contrario, apenas se destacaron diferencias estadísticas entre los resultados obtenidos para el *entorno de centralidad metropolitana* y el resto de “entornos de movilidad”.

Tabla 3. Resultados de la prueba U de Mann-Whitney³.

	PyAL	PyDC	CM	CMp
PROX				
Entorno de proximidad y alcance local (PyAL)				
Entorno de proximidad y distribución circulatoria (PyDC)	0,187			
Entorno de circulación Motorizada (CM)	0,247	0,08		
Entorno de centralidad metropolitana (CMp)	0,518	0,465	0,317	
SHDI				
Entorno de proximidad y alcance local (PyAL)				
Entorno de proximidad y distribución circulatoria (PyDC)	0,66			
Entorno de circulación Motorizada (CM)	0,487	0,807		
Entorno de centralidad metropolitana (CMp)	0,698	1	0,475	
AI				
Entorno de proximidad y alcance local (PyAL)				
Entorno de proximidad y distribución circulatoria (PyDC)	0,04			
Entorno de circulación Motorizada (CM)	0,005	0,023		
Entorno de centralidad metropolitana (CMp)	0,401	0,583	0,198	

³ Diferencias estadísticamente significativas fueron consideradas con $p < 0.05$

En cuanto a SHDI se apreciaron diferencias muy débiles entre los cuatro “entornos de movilidad”. Esto es algo que se podría prever atendiendo a los resultados mostrados en el apartado anterior. Esas pequeñas diferencias se obtuvieron entre el *entorno de circulación motorizada* y el *entorno de centralidad metropolitana* (0,487). Entre el resto de “entornos de movilidad” las diferencias obtenidas siempre superaron un probabilidad de 0,5, llegando incluso a 1 (sin diferencias estadísticas) para los casos del *entorno de proximidad y alcance local* y el *entorno de centralidad metropolitana*. Tal y como se ha apuntado con anterioridad, teniendo en cuenta que SHDI mide el grado de complejidad de un sistema dado, el proceso de simplificación de la información de partida al transformarla a formato raster ha podido ser determinante en la obtención de estos resultados.

Finalmente, la métrica AI utilizada para medir la conectividad de espacios verdes fue la que mostró mejores resultados. Diferencias estadísticamente significativas fueron encontradas para esta métrica al comparar el *entorno de circulación motorizada* con el *entorno de proximidad y alcance local* (0,005) y con el *entorno de proximidad y circulación motorizada* (0,023), así como, al comparar el *entorno de proximidad y alcance local* con el *entorno de proximidad y distribución circulatoria* (0,04). Además, aunque no a un nivel estadísticamente significativo, pero se encontraron diferencias importantes al comparar el entorno de circulación motorizada con el entorno de centralidad metropolitana (0,198).

De esta forma, de las tres métricas utilizadas, AI fue la que mejor discriminó a los cuatro “entornos de movilidad” utilizados en el AMG, seguida de PROX y, en último lugar SHDI que apenas mostro diferencias entre unos “entornos de movilidad” y otros.

4. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Aunque la línea de investigación que se explora en este trabajo aún podría considerarse en fase inicial, lo cierto es que, a nuestro juicio, el presente trabajo realiza una aproximación novedosa y escasamente abordada en el ámbito académico sobre cómo identificar “entornos de movilidad” utilizando métricas espaciales. Cabe concluir que los resultados obtenidos son esperanzadores respecto del uso de las *spatial metrics* tanto para definir “entornos de movilidad” como para extender su uso en el ámbito intraurbano, aunque nuevas investigaciones y en mayor profundidad serán necesarias para continuar dilucidando qué tipo de métricas espaciales son las más adecuadas, así como en qué grado podrán complementarse con otras variables tradicionalmente utilizadas en la identificación de “entornos de movilidad”.

Con todo, se presentan dos bloques de discusión y conclusiones que pueden extraerse de la investigación presentada: (i) Cómo profundizar en la identificación de “entornos de movilidad” utilizando métricas espaciales; (ii) Cuestiones relacionadas con metodología y las propias limitaciones de la investigación.

4.1. LAS MÉTRICAS DE VENTANA MÓVIL EN ÁMBITOS INTRAURBANOS. UTILIDAD PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS ENTORNOS DE MOVILIDAD

Desde la introducción de los “entornos de movilidad” como concepto planificador por los autores Bertolini y Djist (2003), han sido muchos los trabajos que han profundizado sobre cómo definir tales “entornos de movilidad”. Un denominador común en tales trabajos es tratar de abordar la identificación de “entornos de movilidad” a partir de estudiar cuáles son las variables que relacionan de una forma más evidente estructura urbana y patrón de viaje. No obstante en ellos ha estado poco presente la posible incidencia que la distribución espacial de usos del suelo podía tener sobre elementos propios de la estructura urbana de la ciudad (Ewing y Cervero, 2012). Es en este punto donde la presente investigación realiza su aportación fundamental a la literatura especializada existente.

La dificultad fundamental de incorporar la dimensión espacial en la identificación de “entornos de movilidad” radica en la complejidad de las herramientas indicadores que se deben de usar para medir tales atributos, lo que a nuestro juicio ha limitado que hayan sido exploradas con anterioridad. Para solventar este aspecto a nivel metodológico, el presente artículo propone adaptar a ámbitos intraurbanos métricas espaciales que fueron concebidas para estudiar sistemas naturales y que tradicionalmente se utilizan en estudios de ecología del paisaje. Los resultados muestran luces en relación con el uso de tales métricas espaciales en la identificación de “entornos de movilidad” a pesar de que un amplio margen de progreso aún está por delante. La cuestión es que de las tres métricas utilizadas, dos de ellas (PROX y AI) funcionaron relativamente bien para discriminar los 4 “entornos de movilidad” utilizados como áreas piloto (ver resultados de la prueba U de Mann-Whitney), mientras que la métrica SHDI no acabo de ser útil este sentido.

De manera preliminar, los resultados de la investigación parecen sostener que en la medida en que la localización espacial de los usos del suelo sea influyente en el resultado de las métricas (por ejemplo en los casos de PROX o AI), éstas van a discriminar mejor situaciones diferentes en el ámbito intraurbano que aquellas métricas donde la localización de los usos del suelo es menos relevante que la propia riqueza de usos (tal y como ocurre con la métrica SHDI). En cualquier caso, su uso constituye un avance importante en el campo de trabajo y prácticamente inexplorado por la comunidad científica.

4.2. SOBRE LA METODOLOGÍA DEL TRABAJO. LIMITACIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Entendemos que la metodología empleada en este trabajo ha podido condicionar en cierta forma los resultados obtenidos por las métricas espaciales de ventana móvil. A este respecto se discutirán a continuación algunas cuestiones en relación con la (i) simplificación de la información catastral de usos del suelo en altura; (ii) la

estimación de un estadístico de centralidad de cada métrica para cada parada y (iii) las métricas seleccionadas.

En primer lugar, y en lo que respecta a la simplificación de información que supone adaptar la diversidad de usos del suelo existentes en altura recogidos por la cartografía catastral, es posible que dicha simplificación suponga una pérdida de la riqueza de usos que define los diferentes entornos de movilidad. Situación que ha podido afectar sensiblemente a alguna de las métricas utilizadas como, por ejemplo, SHDI, por lo que tendrá que ser tomada en consideración para avances futuros.

En lo que respecta a la estimación del valor mediano de cada métrica para cada una de las paradas, es necesario destacar que al ser SHDI una métrica muy sensible a la variación de usos, es posible que en el ámbito de una misma estación los valores de SHDI presenten una elevada varianza, de modo que al obtener como valor representativo de cada parada una medida de centralidad (dado que la muestra no seguía una distribución normal), las posibles diferencias entre paradas se hayan minimizado, y por ello no arroje diferencias estadísticamente significativas. Este hecho podría solventarse, al menos parcialmente, mediante la realización de transectos (a diferentes distancias de la línea de metro) que muestren los valores de diversidad (medida a través del SHDI por ejemplo) píxel a píxel a lo largo del trazado, de tal modo que el cálculo de medidas de centralidad no suponga una pérdida de información como entendemos puede ocurrir en el caso del uso de la medida de centralidad.

Finalmente destacamos que es necesario explorar líneas futuras en relación con la selección de métricas espaciales más adecuadas para identificar “entornos de movilidad”. A este respecto, analizar otras métricas como la riqueza de usos del suelo o índices de agregación y dispersión de usos del suelo, puede permitirnos avanzar en la selección del conjunto más adecuado para la caracterización e incluso definición de “entornos de movilidad” mediante la cuantificación de su dimensión espacial.

5. BIBLIOGRAFÍA

- AGUILERA, F. (2008). “Análisis ecopaisajístico para la ordenación territorial del área metropolitana de Granada”. Tesis Doctoral. Universidad de Granada, Spain.
- AGUILERA, F., VALENZUELA, L. M., y BOTEQUILHA-LEITÃO, A. (2011). Landscape metrics in the analysis of urban land use patterns: A case study in a Spanish metropolitan area. *Landscape and Urban Planning*, 99(3), 226-238.
- ALBERTI, M., y MARZLUFF, J., (2004). Ecological resilience in urban ecosystems: linking urban patterns to human and ecological functions. *Urban Ecosystem*. 7, 241–265.
- ALBERTI, M., y WADDELL, P., (2000). An integrated urban development and ecological simulation model. *International Assessment*. 1, 215–227.
- BANISTER, D., (2005). *Unsustainable transport: City transport in the new century*. London, Routledge.

- BANISTER, D., (2008). "The sustainable mobility paradigm". *Transport policy*, 15, 73 – 80.
- BANISTER, D., ANDERTON, K., BONILLA, D., GIVONI, M., y SCHWANEN T (2011). Transportation and the Environment. *Annual Review Environmental Resources*, 36: 247-270.
- BERLING-WOLF, S., y WU, J., (2004). Modelling urban landscape dynamics: a case study in Phoenix, USA. *Urban Ecosystem*. 7, 215–240
- BERTOLINI, L. (2006). Fostering urbanity in a mobile society: linking concepts and practices. *Journal of urban design*, 11(3), 319-334.
- BERTOLINI, L (2012). Integrating Mobility and Urban Development Agendas: a Manifesto. *DISP*, 48(1), 16-26.
- BERTOLINI, L. y DJIST, M (2003). Mobility environments and network cities. *Journal of Urban Design*, 8 (1), 27 – 43.
- CERVERO, R. y KOCKELMAN, K (1997). Travel demand and the 3Ds: Density, diversity and design. *Transportation Research*, 2, 199 – 219.
- DIBARI, J., (2007). Evaluation of five landscape-level metrics for measuring the effects of urbanization on landscape structure: the case of Tucson, Arizona, USA. *Landscape and Urban Planning*. 79, 308–313.
- DIAZ-VARELA, E., ÁLVAREZ-LÓPEZ, C. y MAREY-PÉREZ, M.P. (2009). Multiscale delineation of landscape planning units based on spatial variation of land-use patterns in Galicia, NW Spain. *Landscape Ecological Engineering*, 5, 1-10
- EWIN, R. y CERVERO R., (2001). Travel and built environment: a synthesis. *Transportation Research Record*, 1780, 35 – 15
- EWING, R. y R. CERVERO, (2012). Travel and built environment. *Journal of the American Planning Association*, 265 – 294.
- GAUCHEREL, C. (2007). Multiscale heterogeneity map and associated scaling profile for landscape analysis. *Landscape and Urban Planning*, 82(3), 95-102.
- GEOGHEGAN, J., WAINGER, L.A. y BOCKSTAEL, N.E., (1997). Spatial landscape indices in a hedonic framework: an ecological economics analysis using GIS. *Ecological Economics*. 23, 251–264.
- HASS-KLAU, C. y CRAMPTON, G., (2005). *Future of Urban Transport. Learning from success and weakness: Light Rail. Environmental and transport planning*. Bergische Universität Wuppertal.
- HEROLD, M., LIU, X., y CLARKE, K. C. (2003). Spatial metrics and image texture for mapping urban land use. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69(9), 991-1002.
- JAIN, S., KOHLI, D., RAO, R.M., y BIJKER, W. (2011). Spatial Metrics to Analyse the Impact of Regional Factors on Pattern of Urbanisation in Gurgaon, India. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 39(2), 203-212.
- Jl, W., MA, J., TWIBELL, R.W y UNDERHILL, K (2006). Characterizing urban sprawl using multi-stage remote sensing images and landscape metrics. *Computers, Environment and Urban Systems*, 30, 861-879.

- KONG, F., y NAKAGOSHI, N. (2006). Spatial-temporal gradient analysis of urban green spaces in Jinan, China. *Landscape and Urban Planning*, 78(3), 147-164.
- LITMAN, T., (2009). *Developing indicators for comprehensive and sustainable transport planning*. Victoria Transport Policy Institute. Victoria (Canada)
- LUCK, M., y WU, J., (2002). A gradient analysis of the landscape pattern of urbanization in the Phoenix metropolitan area of USA. *Landscape Ecology*. 17, 327-339.
- MIRALLES-GUASCH, C., y DOMENE, E (2010). Sustainable transport through modal change: the case of the Autonomous University of Barcelona. *Transport Policy*, 17, 454 – 463.
- NAESS, P., (2009). Residential self selection and appropriate control variables in land use: travel studies. *Transport Reviews*, 29 (3), 293 - 324.
- PHAM, H. M. and YAMAGUCHI, Y. (2011). Urban growth and change analysis using remote sensing and spatial metrics from 1975 to 2003 for Hanoi, Vietnam. *International Journal of Remote Sensing* 32(7), 1901-1915.
- PITOMBO, C.S., KAWAMOTO, E. y A.J SOUSA. (2010). An exploration analysis of relationships between socioeconomic, land use, activity participation variables and travel patterns. *Transport Policy*, 18, 347 – 357.
- SHRESTHA, M. K., YORK, A. M., BOONE, C.H. y ZHANG, S. (2012). Land fragmentation due to rapid urbanization in the Phoenix Metropolitan Area: Analyzing the spatiotemporal patterns and drivers. *Applied Geography*, 32, 522-531.
- SILVA, C. y PINHO, P. (2010). The Structural Accessibility Layer (SAL): Revealing how urban structures constrains travel choice. *Environment and Planning A*, 42, 2735-2752.
- SORIA-LARA, JULIO ALBERTO., (2011). “Modelo de umbrales para la evaluación ambiental de la movilidad urbana”. Tesis Doctoral. University of Granada.
- SORIA-LARA JA y VALENZUELA-MONTES LM. (2014). “Beyond urban structure and travel patterns. Mobility environments as a planning concept”. *Boletín Asociación Geógrafos Españoles*. 64, 273-296.
- SUN, C., WU, Z. F, LV, Z., YAO, N., y WEI, J. (2013). Quantifying different types of urban growth and the change dynamic in Guangzhou using multi-temporal remote sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21, 409-417.
- TALAVERA-GARCÍA R, SORIA-LARA JA y VALENZUELA-MONTES, LM. (2014). “La calidad peatonal como método para evaluar entornos de movilidad urbanos”. *Documents d'Anàlisi Geogràfica* 60/1, 161-187
- TV, R., AITHAL B H. y SANNA, D.D. (2012). Insights to urban dynamics through landscape spatial pattern analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18, 329-343.
- VALENZUELA-MONTES, L.M., SORIA-LARA, J.A. y TALAVERA-GARCÍA, R. (2011). Hacia la integración de los planes y proyectos andaluces de movilidad metropolitana. *Scripta Nova. Geocrítica*, 15 (349), 1 - 15.

- VUCHIC, V.R., (2005). *Urban Transit. Operations, Planning and Economics*. John Wiley & Sons, Inc.
- WEGENER, M., y FÜRST, F. (2004). *Land-use transport interaction: state of the art*. Available at SSRN 1434678.
- XIE, Y., YU, M., BAI, Y., y XING, X. (2006). Ecological analysis of an emerging urban landscape pattern—desakota: a case study in Suzhou, China. *Landscape Ecology* 21, 1297-1309.
- XU, C., LIU, M., ZHANG, C., AN, S., YU, W. y CHEN J.M (2007). The spatiotemporal dynamics of rapid urban growth in the Nanjing metropolitan region of China. *Landscape Ecology*, 22, 925-937.
- YANG, Q., LI, J., GAN, X., ZHANG, J., YANG, F. y QIAN, Y. (2012). Comparison of landscape patterns between metropolises and small-sized cities: a gradient analysis with changing grain size in Shanghai and Zhangjiagang, China. *International Journal of Remote Sensing*, 33(5), 1446-1464.
- YEH, C. T., y HUANG, S. L. (2009). Investigating spatiotemporal patterns of landscape diversity in response to urbanization. *Landscape and Urban Planning*, 93(3), 151-162.
- ZANDVLIET, R., BERTOLINI, L y DIJST, M. (2008). Towards planning for a mobile society: mobile and residential populations and the performance of places. *European Planning Studies*, 16(10), 1459-1472.